

第十屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA10-503

作品名稱：渦貼－探討渦蟲吸附及釋放行為

姓名：陳奕安

關鍵字：渦蟲、吸附行為

摘要

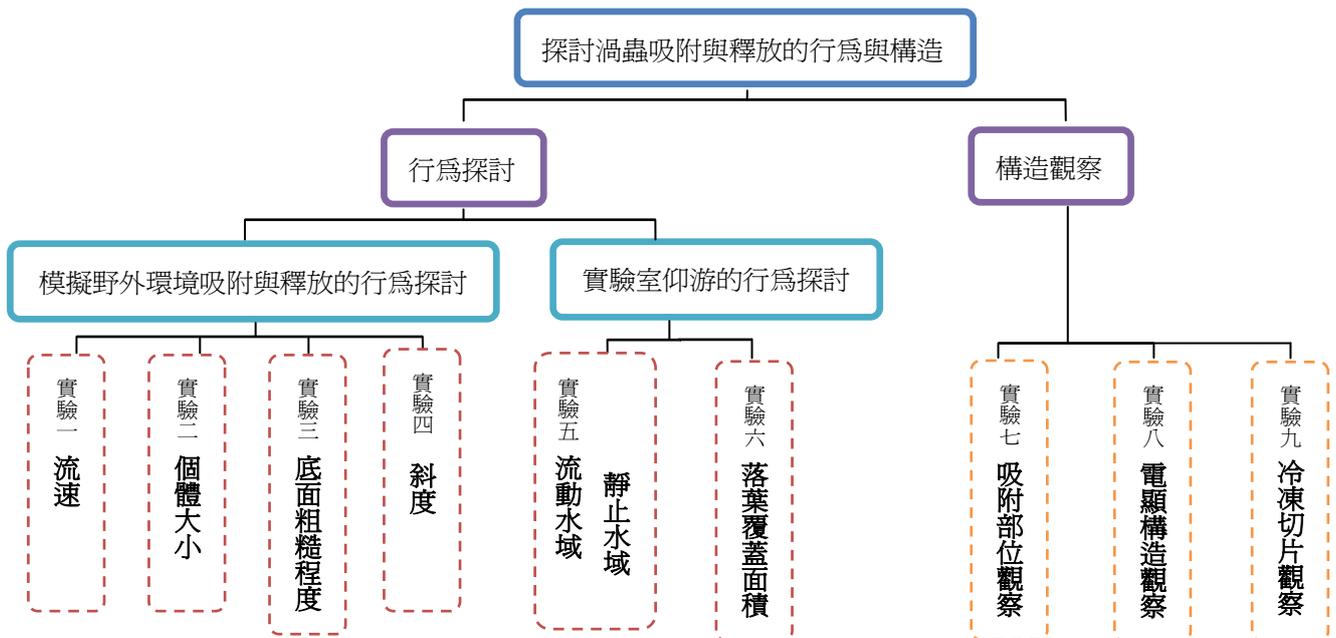
不同生物體的「吸附」行為可以由吸盤、黏液或是纖毛構造等多種方式產生。而生長於溪流上游的渦蟲，同時具有黏著腺及釋放腺，在水流衝擊下可以藉吸附及釋放控制自身的行動。但我們不知道的是，在各種情況下，環境因素對渦蟲之吸附力能造成何種影響。我們便自行設計了模擬各種變因的滑水道裝置，發現渦蟲的吸附及釋放能力會受到水流流速、底質粗糙程度及斜度等因素的影響。而渦蟲仰游的行為則會受到所處環境為流動水域和靜止水域的不同而受到影響。接著利用掃描式電子顯微鏡觀察渦蟲樣本體表構造，發現渦蟲樣本之背面為體表平滑區。樣本之腹面，在頭部大部分為黏著腺乳突細胞；腹部上端附近則觀察到許多黏液顆粒；腹面中段的區域發現大量渦蟲體表纖毛；而體表不平滑區散佈在其周圍地帶。最後在尾部具有大量腺體(Rhabdite gland)開口。

壹、研究動機

高一的生物課到野外溪流觀察生態時，我們發現渦蟲可以在激烈的水流下逆流而上，便很好奇渦蟲到底是如何在湍急的水流中，倚仗著微小的身軀抵抗大自然的逆境，控制自身的吸附及游泳狀態？若當渦蟲處在非自然環境中又將如何控制自身吸附或釋放的行為？在好奇心驅使之下，我們便將渦蟲帶回實驗室飼養。在飼養渦蟲的過程中，我們發現渦蟲移動方式皆為貼著飼養缸壁面游動，偶爾會出現沿著壁面游至水面，進而產生仰游的情形。渦蟲還可以在各種不同的底質上游動，並自由控制自身的吸附或游泳的狀態，甚至可以使自身與其他渦蟲相疊或互抱成一團，又可在瞬間解除這種現象。於是我們便對渦蟲這樣吸附與釋放的行為感到好奇，便自行設計了模擬各種環境變因的裝置，深入探討水流流速、個體大小、底質粗糙程度及斜度對渦蟲吸附及釋放能力行為之影響。

貳、研究目的

- 一、探討不同環境條件對渦蟲吸附與釋放行為的影響。
- 二、探討不同環境條件對渦蟲仰游的影響。
- 三、觀察渦蟲體表與吸附、釋放相關之細微構造。



參、研究設備及器材

一、東洋渦蟲(*Dugesidae Dugesia*)的基本認識 (如圖一)：

本認識 (如圖一)：

東洋渦蟲屬扁形動物門(Platyhelminthes)，渦蟲綱(Turbellaria)，三腸目(Tricladida)，渦蟲屬。渦蟲體型細長、柔軟而扁平，長約5~30mm，寬約2~4mm。頭部有兩個黑色半月型的眼點(eyespots)，頭呈明顯三角形，兩側為一對耳突(auricle)。渦蟲體色多為黑色、褐色、紅棕色或乳白色，腹面稍平而顏色較淺。腹面的咽管為口及肛門之用，無體腔，亦無循環系統。渦蟲體表為一層立方細胞之表皮層(epidermis)。腹面表皮層上有纖毛，渦蟲賴以滑行。體表上的小型乳突，包含兩種腺體，一種是黏液腺(slimeglands)，可產生黏液用於固著；另一種是釋放腺(releasing gland)，產生的分泌物可破壞黏液腺的黏液，使身體能從黏著中游離。而渦蟲的表皮中，含有無數的桿狀分泌物(rhabdites)，環境不利時，能由表皮中逸去，和水作用後具有黏性，可能有防衛身體的功能。在流水中，渦蟲常面向或爬向逆水。而水流方向之辨認，由耳突處分布豐富的趨流感受器感測。



圖一、東洋渦蟲

渦蟲標誌著動物界的演化發展已開始由水生向陸生、由固著或漂浮生活向自由爬行生活過渡，因此在動物的進化中具有重要意義。

二、實驗器材：

光電計時器	一台
保麗龍	數塊
紙膠帶台	一台
培養皿	一個
相機	一台
溫濕度計	一個
夾鏈袋	數個
毛筆	數枝
砂紙（平均顆粒直徑為 265、140、92 μ m）	各一張
尺(30cm)	三把
燒杯（1000ml、500ml、200ml）	各兩個
大水盆	一個
量杯（2000ml）	一個
碼錶	一個
原生地竹葉	一包
量角器	一個
酒精（70%、95%、99.5%）	三瓶
丙酮（100%）	一瓶
F.A.A 固定液（福馬林 5ml + 冰醋酸 5ml + 70%酒精 90ml）	適量
臨界點乾燥機（HITACHI-H CP2）	一台（如圖二）
離子覆膜機（HITACHI E-1010）	一台（如圖三）
掃描式電子顯微鏡（HITACHI S-3000N）	一台（如圖四）



圖二、臨界點乾燥機



圖三、離子覆膜機



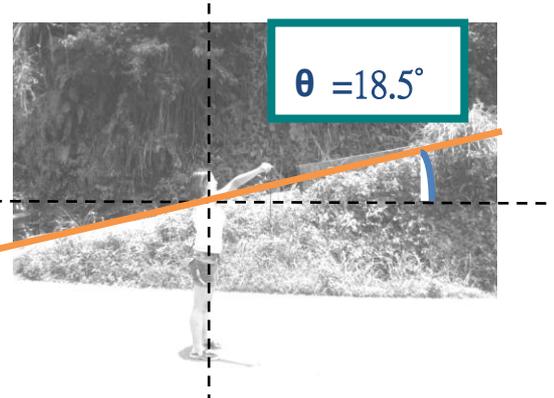
圖四、掃描式電子顯微鏡

肆、研究過程與方法

(一) 觀察及採集

一、環境觀察：

1. 放置溫溼度器，待 30 分鐘紀錄讀數。
2. 以捲尺測量小溪長度，等分三份，區分為上、中、下游。
3. 每隔一公尺以光度計測量小溪之照度數值。
4. 用石蕊試紙測小溪中水的 PH 值。
5. 將碼錶當成重物做為鉛錘器，在斜坡側面拍照（如圖五）。



圖五、測量小溪斜度

二、捕抓渦蟲：

1. 把準備好的豬肝切塊，分別放入小溪的不同分段（上、中及下游）。
2. 二十分鐘後取出豬肝，毛筆將吸附在豬肝上的渦蟲取下。
3. 按照分區將渦蟲分裝進標註(1)上游 (2)中游 (3)下游 約一升的有蓋容器中。
4. 取適量渦蟲（約一百隻）帶回實驗室恆溫箱繼續養殖。

三、原生地流速測量：

1. 就地取材，以小花花瓣做為目標物。
2. 清除待測區域水面上的障礙物（如：小樹枝、枯葉）。
3. 在小溪旁以捲尺拉出 50cm 以作對照。
4. 將花瓣放入水面，使其隨水漂流，同時按下碼錶（如圖六）
5. 紀錄通過小花花瓣流過 50cm 處所需時間並換算成流速。
6. 重複步驟 1~5 三次，取其平均值。
7. 於上、中、下游處重複步驟 1~6。

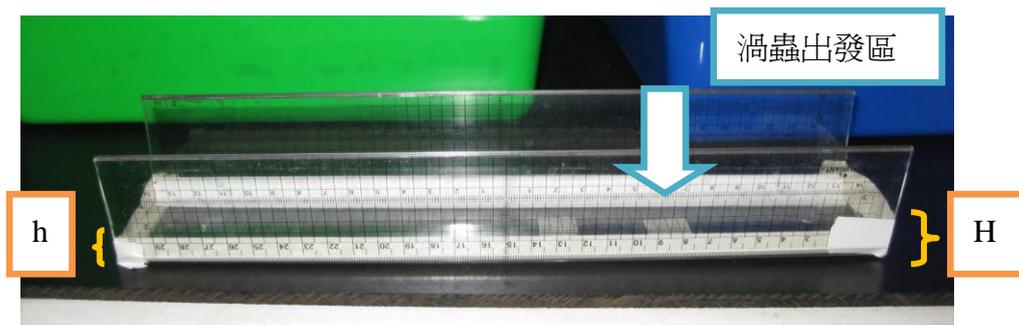


圖六、小溪流速測定

(二) 前置作業：

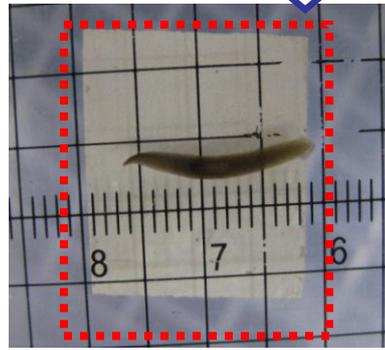
一、製作平面軌道組：

1. 將三把 30cm 的尺以紙膠帶固定，使其夾角兩兩互為 90 度。
2. 在前、後端以紙膠帶做出簡易擋板，使前端擋板高於後端擋板，以保持軌道上水面之一定深度（如圖七）。

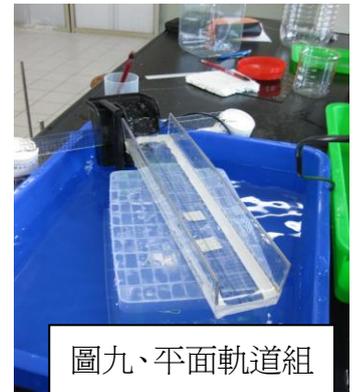


圖七、軌道組 ($H > h$)

3. 在底端黏上膠帶當作渦蟲出發區（如圖八）。
4. 固定完成後，即為軌道組。
5. 將馬達固定於裝滿水的大水盆一角。
6. 在大水盆中放置倒放的收納盒作為軌道組的支撐，為完整平面軌道組（如圖九）。



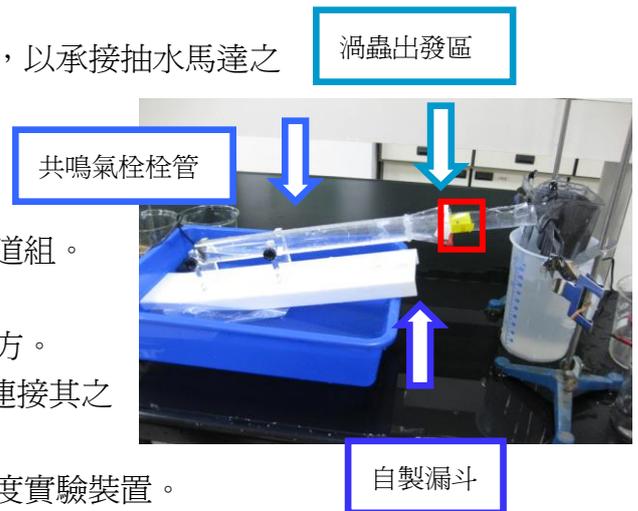
圖八、將渦蟲放置在出發區內



圖九、平面軌道組

二、製作斜度軌道組（如圖十）：

1. 在共鳴氣栓管上方開口加裝自製漏斗，以承接抽水馬達之水流。
2. 在透明片下黏貼黃色膠帶為出發區以便觀察。
3. 將透明片捲起置於氣栓管內，為斜度軌道組。
4. 將軌道組置於水盆內。
5. 以滴定管夾固定抽水式馬達於大量杯上方。
6. 將沉水式馬達置於水盆內，並以橡皮管連接其之出水孔至大量杯中，為循環馬達組。
7. 將循環馬達組與斜度軌道組組合即為斜度實驗裝置。



圖十、斜度實驗裝置

三、馬達流速之測定：

1. 將光電計時器之兩端接收器放置於軌道兩旁適當處，間隔為十公分（如圖十一）。
2. 以寶特瓶瓶蓋及保麗龍作為標準漂浮物。
3. 操作光電計時器，測量漂浮物通過兩端接收器之時間。
4. 將實驗數據換算成流速（cm/s），流速 = 距離 / 時間。
5. 量測三種流速，分別訂為慢速（3.18cm/s）、中速（5.05cm/s）、快速（8.13cm/s）。
6. 以慢速流速模擬原生棲地枯水期之流速；中速水流模擬原生棲地豐水期之流速。



圖十一、馬達流速測定裝置示意圖

四、定義渦蟲大小：

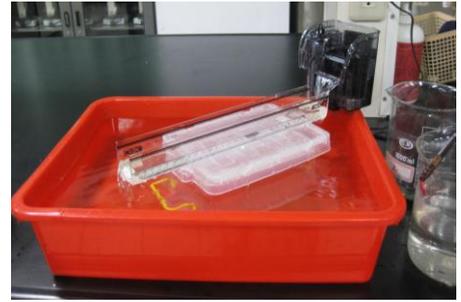
1. 定義體長2.1~3.0 cm之渦蟲為大渦蟲。
2. 定義體長1.1~2.0 cm之渦蟲為中渦蟲。
3. 定義體長0.1~1.0 cm之渦蟲為小渦蟲。

(三) 實驗步驟：

一、探討不同環境條件對渦蟲吸附與釋放行為的影響。

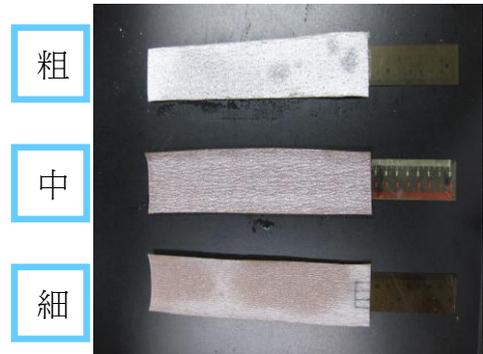
實驗一：探討流速對渦蟲吸附力之影響

1. 調整馬達抽水栓鈕為慢速水流。
2. 先將軌道充滿水（如圖十二）。
3. 將十隻中渦蟲放置於軌道出發處。
4. 等待渦蟲在無流速狀態下吸附好。
5. 將平面軌道組移至慢速流速下並計時 1 分鐘。 圖十二、慢速水流下之實驗裝置
6. 觀察並記錄渦蟲吸附及游動狀況。
7. 計算渦蟲吸附數量比率： $\text{吸附數量比率} = \text{吸附隻數} / \text{全部隻數}$ 。
8. 計算渦蟲逆流游泳數量比率： $\text{逆流數量比率} = \text{逆流隻數} / \text{吸附隻數}$ 。
9. 重複步驟1~8但將慢速水流分別改為中速及快速水流。



實驗二：探討個體大小對渦蟲吸附力之影響

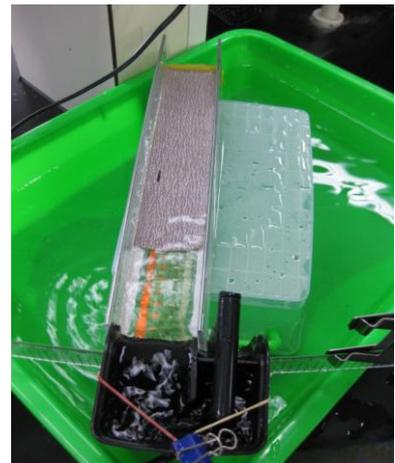
1. 取大渦蟲十隻
2. 將軌道充滿水。
3. 分別將十隻大渦蟲放置於軌道出發處。
4. 等待渦蟲在無流速狀態下吸附好。
5. 將軌道移至中速流速下並計時 1 分鐘。
6. 觀察並記錄渦蟲吸附及游動狀況。
7. 計算渦蟲吸附數量比率及渦蟲逆流數。
8. 重複步驟2~7十次。
9. 再分別取中、小渦蟲各十隻，重複步驟1~8。



圖十三、自製底質板

實驗三：探討底質粗糙程度對渦蟲吸附能力之影響

1. 剪裁砂紙使其長寬符合軌道組。
2. 將塑膠尺與砂紙黏貼，為底質板（如圖十三）。
3. 將底質板放置於軌道組上。
4. 先將軌道充滿水（如圖十四）。
5. 將十隻中渦蟲放置於底質板出發處。
6. 等待渦蟲在無流速狀態下吸附好。
7. 將軌道移至中速流速下並計時 1 分鐘。
8. 觀察並記錄渦蟲吸附及游動狀況。
9. 計算渦蟲吸附數量比率及渦蟲逆流數。
10. 重複步驟 4~9 十次。
11. 更換底質版，重複步驟 1~10。

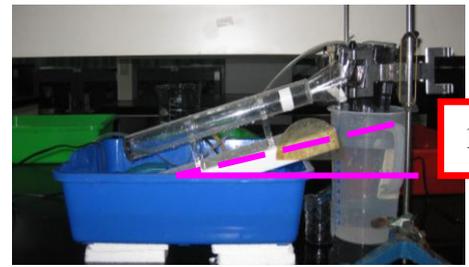


圖十四、底質粗糙程度之實驗裝置

實驗四：探討斜度對渦蟲吸附能力之影響

1. 架設斜度軌道組，使軌道與水平夾 10° 角（如圖十五）。
2. 取中渦蟲十隻置於透明片上。

3. 將軌道充滿水。
4. 將渦蟲放置於出發區。
5. 等待渦蟲在無流速狀態下吸附好。
6. 將軌道移至中速流速下並計時 30 秒。
7. 觀察並記錄渦蟲的吸附情形。
8. 計算渦蟲吸附數量比率及渦蟲逆流數。
9. 重複步驟 2~10 十次。
10. 分別架設與水平夾 20° 、 30° 之軌道組，重複步驟1~9。



圖十五、斜度實驗裝置圖

二、探討不同環境條件對渦蟲仰泳的影響。

實驗五：觀察渦蟲在靜止水域與流動水域下的仰游情形

1. 準備兩個塑膠盒。
2. 倒入相同的水量使水深皆為7cm。
3. 在其中一個塑膠盒中放入沉水馬達，為人工流動水域（如圖十六）。
4. 另一塑膠盒為人工靜止水域。
5. 各放入20隻渦蟲。
6. 靜置五分鐘使其熟悉水域環境共觀察一小時。
7. 將流動水域之水流流速調整為中速流速。
8. 每隔五分鐘觀察並記錄水域中渦蟲的仰游數目（如圖十七）。
9. 計算其仰游數量比率： $\text{仰游數量比率} = \text{仰游隻數} / \text{總隻數}$ 。



圖十六、靜止及流動水域



圖十七、仰游中之渦蟲

實驗六：竹葉覆蓋率對渦蟲仰游率的影響

1. 準備三個淺盤。
2. 分別將五十隻渦蟲置於裝滿水的淺盤中，並待其吸附好。
3. 在水面上分別放置零片竹葉、四片竹葉、八片竹葉（如圖十八）。
4. 確認渦蟲於計時前無吸附於竹葉上。
5. 開始計時，每隔五分鐘觀察並記錄渦蟲的吸附狀態。



圖十八、不同竹葉覆蓋率之淺盤

實驗七：觀察渦蟲的吸附部位

1. 架設平面軌道組。
2. 取中隻渦蟲10隻。
3. 將軌道充滿水。
4. 等待渦蟲完全吸附好。
5. 用毛筆輕輕將渦蟲刷離軌道。
6. 使渦蟲隨水流漂動。
7. 觀察渦蟲回到吸附狀態的表現。
8. 重複步驟1~7。
9. 共觀察5次。

實驗八：電顯構造觀察

1. 以煮沸後冷卻之水、甜橙、佛手柑、薰衣草、尤加利、薄荷精油及精油濃度1%、2%、3%試驗渦蟲之最佳麻醉溶劑，即1%薄荷精油。
2. 將渦蟲置於精油麻醉溶液中約十小時（如圖十九之一）。
3. 將渦蟲置於F.A.A固定液溶液中浸泡約六小時。
4. 將渦蟲置於70%、90%、99.5%酒精和10%、50%、90%、100%丙酮進行序列脫水，每種濃度浸泡一小時及三十分鐘。
5. 取浸泡每種濃度一小時之溶液中，渦蟲型態完整者為樣品。
6. 將上述樣品以臨界乾燥機處以臨界點乾燥(Critical point drying)。
7. 取出樣品並以碳膠帶黏貼於觀察台(stub)上(如圖十九之二)。
8. 以離子覆膜機鍍金(coating)約二十分鐘，為SEM標本。
9. 將SEM標本置於電子顯微鏡下觀察與照相。



圖十九之一、
浸泡於渦蟲各種精油溶液



圖十九之二、
製作 SEM 標本

實驗九：冷凍切片構造觀察

1. 將鋁質標本台(disk)放入冷凍切片機中預冷，由圓心開始向外塗上冷凍包埋劑(cryo tissue embedding compound，簡稱O.C.T)。
2. 待底部冷凝成白色後放置以FAA固定之渦蟲，使渦蟲直立，以便進行組織橫切(如圖二十之一)。
3. 當溫度達-20°C後加入O.C.T，使渦蟲組織完全包埋並等待其冷凝。
4. 厚度設定為10 μ m，進行組織切片(如圖二十之二)。
5. 取常溫之載玻片與組織切片靠近貼合。O.C.T遇常溫之玻片即融解，使標本與載玻片充分黏合。
6. 將切片暫存於的切片盒中陰乾。
7. 重複步驟1~6，在步驟4將切片厚度調整為5 μ m。
8. 以配置好的蘇木紫染劑進行染色(配方及步驟如附表一)。



圖二十之一、
製作冷凍切片標本



圖二十之二、
進行冷凍切片

(一) 蘇木紫溶液(Gill-Hematoxyl)

蒸餾水	690 ml
乙二醇(Ethylene glycol)	250 ml
蘇木紫	6mg
碘酸鈉(Sodium idoate)	0.6mg
硫酸鋁(Aluminum Sulfate)	52.8gm
冰醋酸(Glacial acetic acid)	60ml

伍、研究結果

觀察渦蟲棲地及採集渦蟲

出野外測得渦蟲原生地小溪寬度為 18cm，長度為 14.4 m，水深為 12cm，斜度為 18.5°，流速為 4.18cm/s。小溪底質為細小的黃土沙，因為位於岩壁下方，小溪中有許多邊緣銳利的小石塊(直徑約 1cm)，較大顆的鵝卵石邊緣較平滑。水面上覆蓋著少許枯枝落葉，其中又以竹葉最多。水質清澈，幾乎無藻類生長，只有靠近水面上方的岩壁有蘚苔類。將落葉及石頭翻開後可發現吸附於其背面的渦蟲。將豬肝放入小溪中，渦蟲便從藏身處游出攝食。我們觀察到渦蟲從四面八方朝豬肝游來，不論是順流游動或逆流而上皆能移動自如，吸附在豬肝上攝食時也十分穩固。



圖二十一、渦蟲吸附於鵝卵石底部



圖二十二、渦蟲吸附於落葉背面

圖二十三、(右) 渦蟲吸附於竹葉背面
※竹葉：(棲地最常見落葉種類)



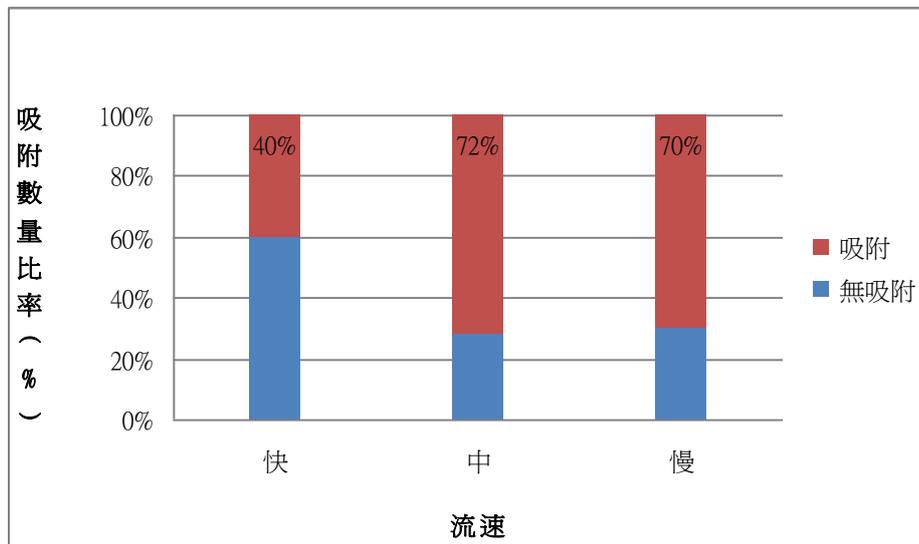
圖二十四、(左) 小溪底質為細砂



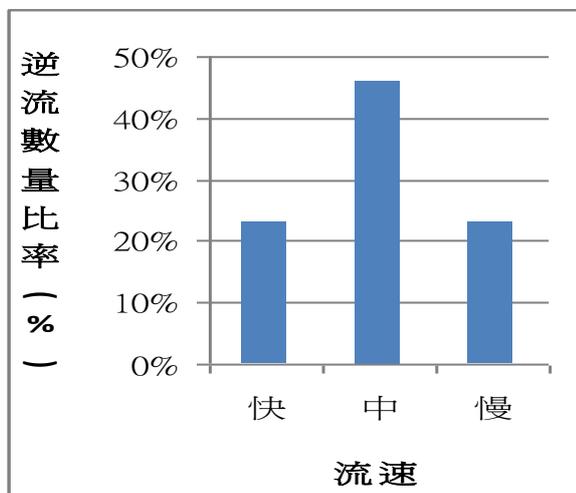
實驗一：探討流速對渦蟲吸附能力之影響

由圖二十五可知，在流速為8.13cm/s的情況下，渦蟲吸附數量比率為40%，較不易吸附。在流速為5.05cm/s的情況下，渦蟲吸附數量比率為72%；流速為3.18cm/s時，渦蟲吸附數量比率為70%。中速及慢速水流下能吸附及游泳的渦蟲數量皆可達70%，較快速水流下吸附的數量多。在流速小於中速時，流速愈大，渦蟲的吸附隻數較多。

更細部的行為觀察，從圖二十六我們發現快速水流下，渦蟲逆流數量比率為23%；中速水流下，渦蟲逆流數量比率為46%；慢速水流下，渦蟲逆流數量比率為23%。在中速水流沖刷下，渦蟲逆流數量比率最高。在流速小於中速時，流速愈大，渦蟲的逆流隻數較多。而中速流速最接近原生地的流速（4.18cm/s），此實驗說明渦蟲在中速水流下的吸附能力稍強，而且逆流能力則明顯較高。



圖二十五、流速對渦蟲吸附數量比率的影響

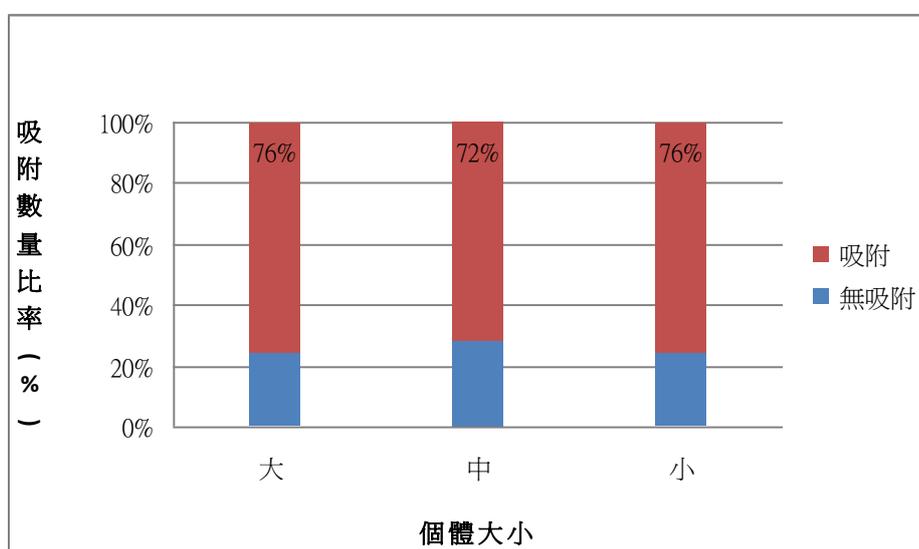


圖二十六、流速對渦蟲逆流數量比率的影響

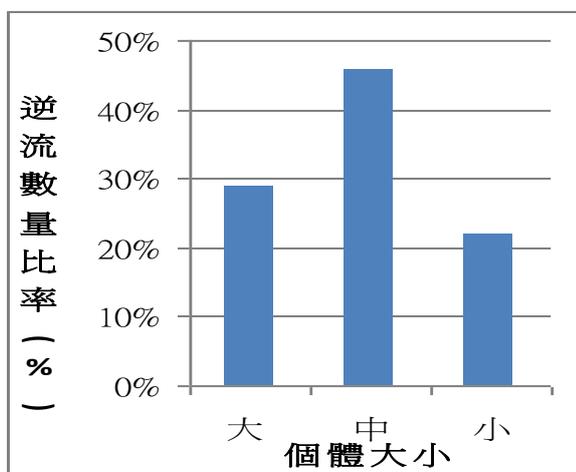
實驗二：探討個體大小對渦蟲吸附能力之影響

由圖二十七可知，在中速水流沖刷下，大隻渦蟲吸附數量比率為 76%；中隻渦蟲吸附數量比率為 72%；小隻渦蟲吸附數量比率為 76%。三者在中速水流下能吸附及游泳的渦蟲數量皆可達 70%，個體大小與渦蟲的吸附能力並無顯著差異 ($p>0.5$)。

更細部的行為觀察，從圖二十八我們發現大隻渦蟲逆流數量比率為 29%；中隻渦蟲逆流數量比率為 46%；小隻渦蟲逆流數量比率為 22%。中隻渦蟲逆流性表現最強，逆流數量比率大於小隻渦蟲逆流數量比率的兩倍(中 46% > 小 22%)。中型大小的渦蟲之逆流數量比率顯著大於小型及大型渦蟲 ($p<0.5$)。而我們在原生地捕獲的渦蟲，也以中型渦蟲數量為最多，此實驗說明中型渦蟲在中速水流下的逆流能力顯著高。



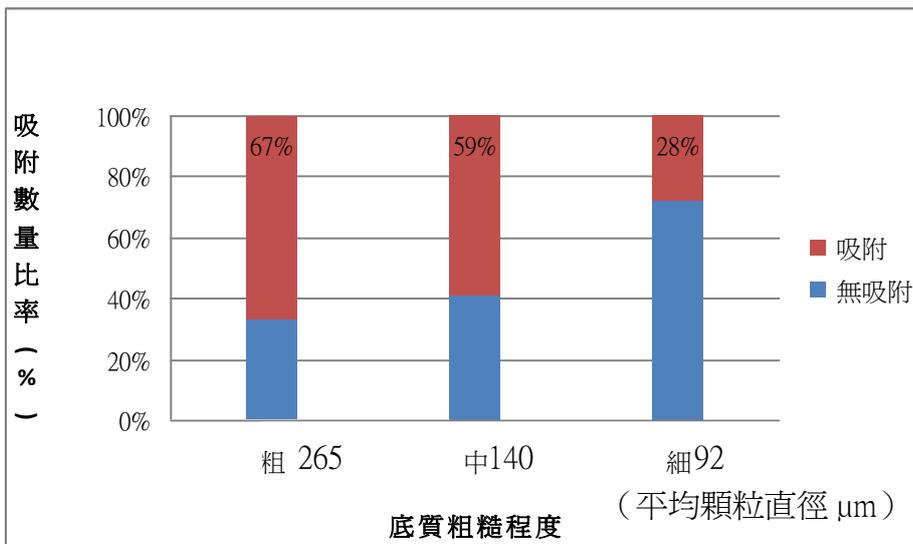
圖二十七、個體大小與渦蟲吸附數量比率



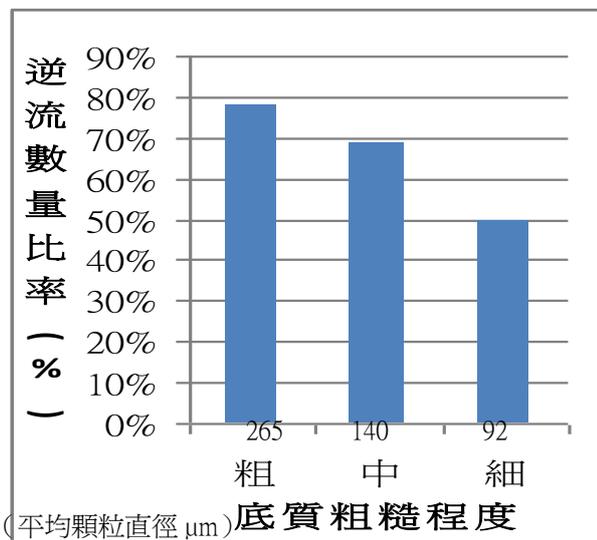
圖二十八、個體大小與渦蟲逆流數量比率的相關

實驗三：探討底質粗糙程度對渦蟲吸附能力之影響

由圖二十九可得知，在流動人工水域中，底質越粗糙，渦蟲的吸附數目比率越高(粗67% > 中59% > 細28%)。而由圖三十可看出，在吸附的渦蟲當中，底質越粗糙，在所有吸附渦蟲數中的逆流數目比率越高(粗78% > 中69% > 細50%)。推測渦蟲的吸附及釋放能力和吸附之底質粗糙程度有相關。底質愈粗糙，對渦蟲吸附與逆流皆有利。又因為渦蟲無論吸附不動或游泳滑行皆是腹面朝下，故推測此種行為和腹面的構造有關。



圖二十九、底質粗糙程度對渦蟲吸附數量比率之影響

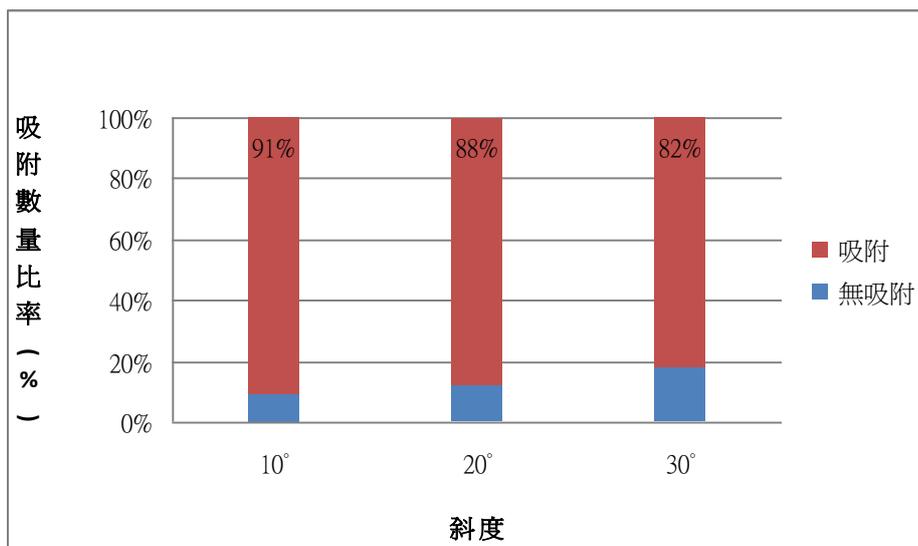


圖三十、底質粗糙程度對渦蟲逆流數量比率之影響

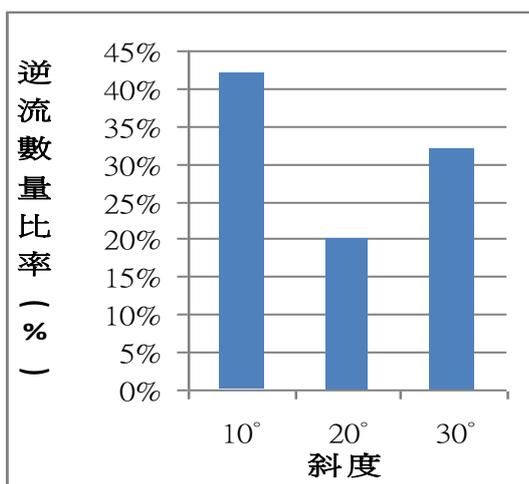
實驗四：探討斜度對渦蟲吸附能力之影響

由圖三十一可看出，在中速水流流速下，斜度越大的流動人工水域中，渦蟲的吸附數目比率越低（斜度30°：82% < 斜度20°：88% < 斜度10°：91%），三者吸附數量比率皆可達80%。

由圖三十二，吸附狀態下的渦蟲當中，渦蟲的逆流數目比率為：斜度10°：42% > 斜度30°：32% > 斜度20°：20%。而斜度20°最接近原生地的斜度（18.5°），此實驗說明渦蟲在斜度20°中速水流下的吸附能力良好，但是逆流能力則明顯較低。



圖三十一、斜度對渦蟲吸附數量比率的影響

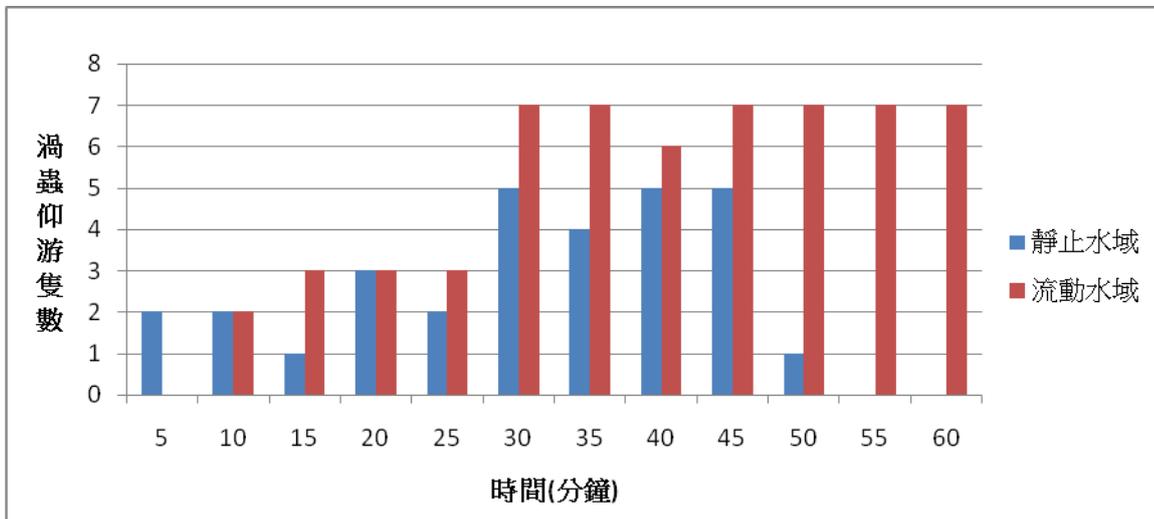


圖三十二、斜度對渦蟲逆流數量比率的影響

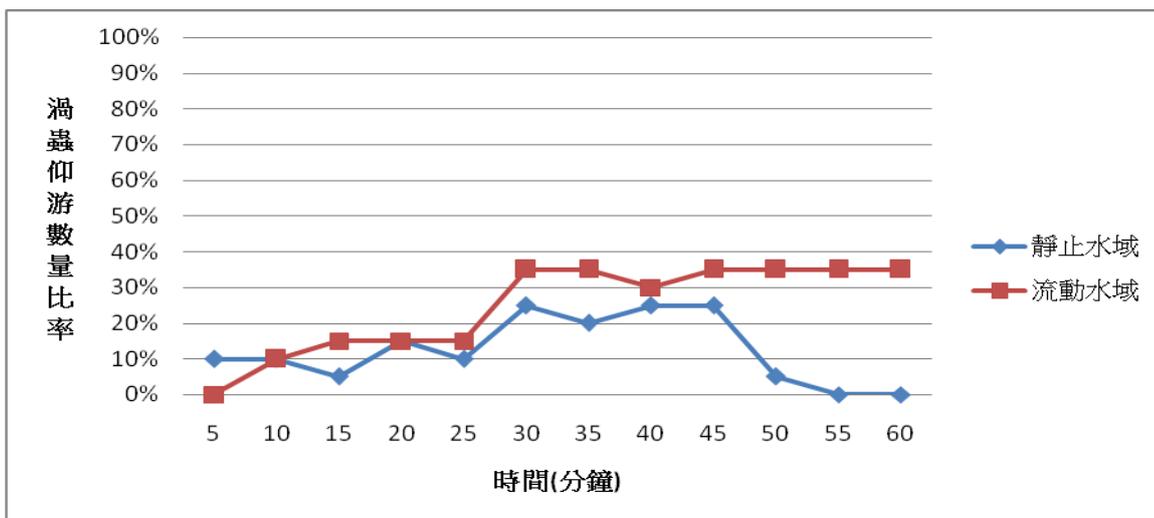
實驗五：流動或靜止水域對仰游之影響

由圖三十三可知，渦蟲在流動人工水域中的仰游數目比率較靜止人工水域多（流動人工水域 24.6% > 靜止人工水域 12.5%）。在 25 分鐘之後，流動水域內之仰游隻數一直都維持著多於靜止水域的狀態。

在 45 分鐘後，靜止人工水域中仰游渦蟲數目銳減（45 分鐘 5 隻，50 分鐘 1 隻，55 分鐘 0 隻，60 分鐘 0 隻），流動人工水域渦蟲仰游數則未有變動（皆為 7 隻）。渦蟲在流動水域中無論仰游的隻數或仰游持續時間皆大於靜止水域。仰游為渦蟲腹面朝上之游泳行爲，推測渦蟲在流動水域中也能自由控制吸附與釋放的行爲，不只底部滑動，腹面朝上的仰游也能達到。



圖三十三、流動或靜止水域對渦蟲仰游隻數之影響



圖三十四、流動或靜止水域對渦蟲仰游數量比率之影響

實驗六：竹葉密度對渦蟲仰游率的影響

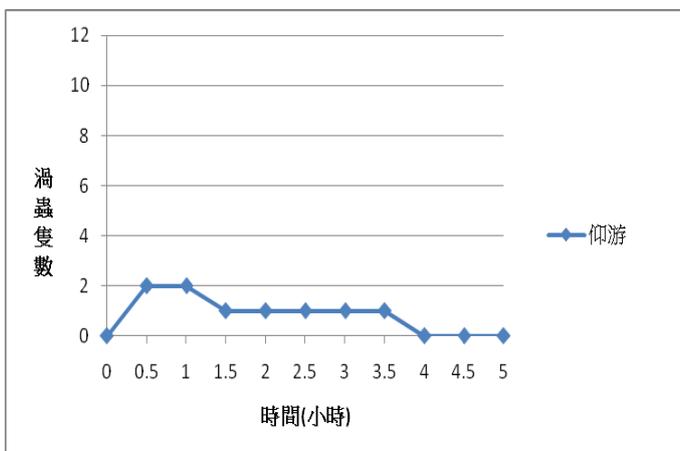
因為渦蟲原生地溪流中，常覆蓋許多竹葉在水面上，且在野外觀察時，我們發現在各種落葉中，竹葉面下的渦蟲吸附之數最多，所以我們設計了此實驗，來探討當水面上有枯葉覆蓋時，渦蟲腹面朝上的吸附行為與仰游數量的關係。

由圖三十五發現：在無竹葉覆蓋的容器中，50 分鐘內渦蟲仰游數目維持小於 3 隻。

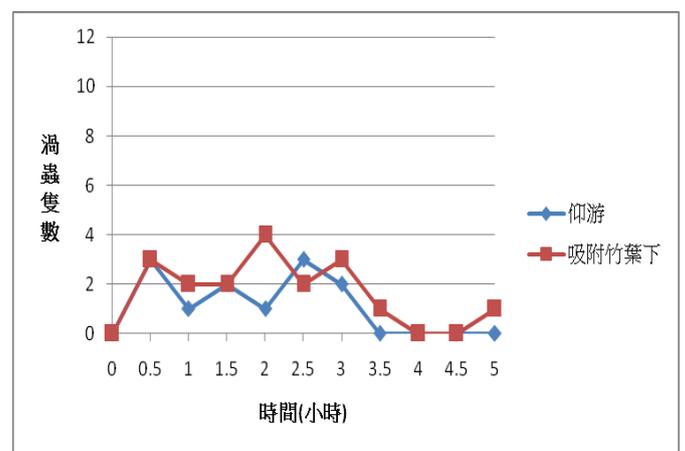
由圖三十六發現：在四片竹葉覆蓋(約佔容器水面面積 41%)的容器中，吸附在竹葉下的隻數多於仰游隻數，但兩者的數量差距並不大(仰游隻數差距最大值為 3)，且皆隨時間增長而呈現遞減的情況。

由圖三十七發現：在八片竹葉(約佔容器水面面積 83%)覆蓋的容器中，吸附在竹葉下的隻數明顯多於仰游隻數，且皆隨時間增長而呈現遞減的情況。

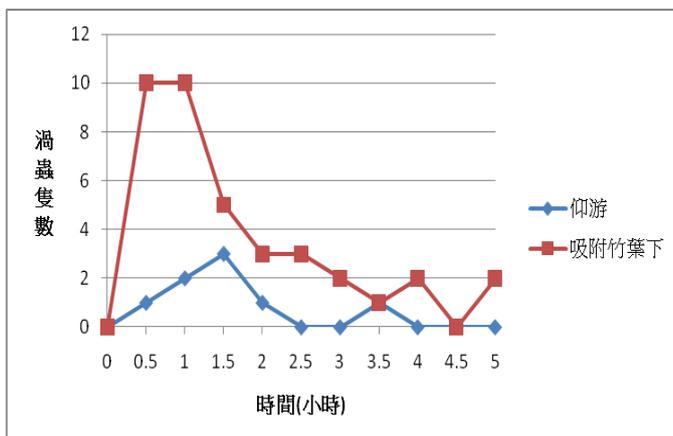
綜合以上所敘，我們發現：平均而言，在有竹葉的容器中，渦蟲吸附在竹葉下的隻數比單純仰游隻數多，且竹葉覆蓋面積愈大，渦蟲吸附在竹葉下之數目愈多，推測渦蟲可以自由控制其腹面面對欲吸附的方向，無論是腹面朝上或朝上皆可行。



圖三十五、無竹葉覆蓋下渦蟲仰游隻數



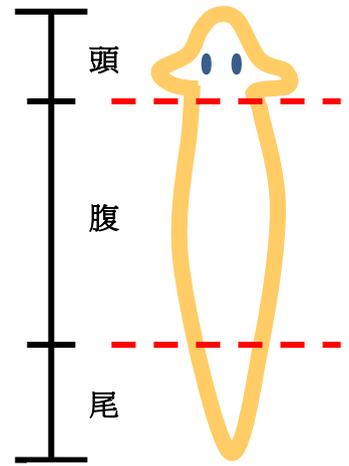
圖三十六、四片竹葉覆蓋下渦蟲仰游隻數



圖三十七、八片竹葉覆蓋下渦蟲仰游隻數

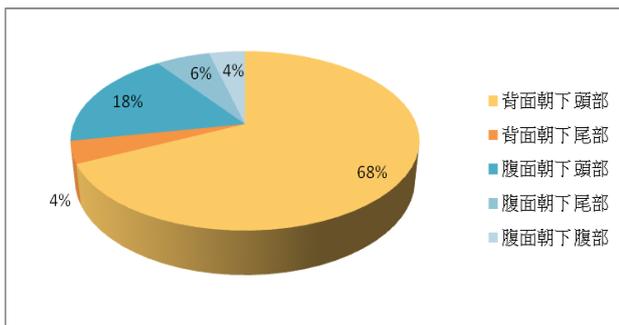
實驗七：觀察渦蟲的吸附部位

順流而下的渦蟲，一碰到障礙物便會吸附。我們將渦蟲吸附的部位分為頭部、腹部、尾部，所占體長比例 頭：腹：尾=1：3：1（如圖三十八）。渦蟲碰觸到物體時的狀態可分為兩種情形：背面朝下及腹面朝下。若身體碰觸到物體時背面朝下，渦蟲頭會先待全身翻轉成腹面朝下再開始游動；若碰觸到物體時腹面朝下，則先接觸到物體的部位先吸附再開始游動。吸附狀態中，68%的渦蟲背面朝下且頭部先

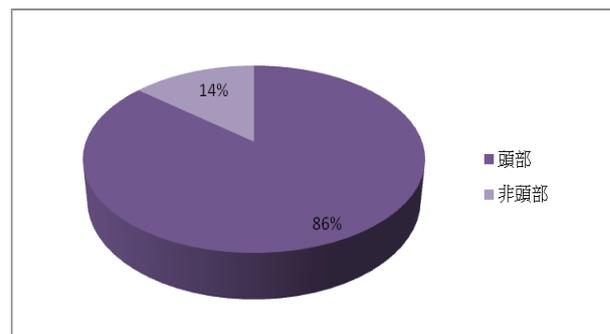


圖三十八、渦蟲背面分段圖

翻轉吸附後，其餘身體部位才跟著翻轉，待全身皆翻轉成腹面朝下才繼續游動；只有 4%的渦蟲背面朝下且尾部先翻轉吸附；18%的渦蟲腹面朝下頭部先吸附；6%的渦蟲腹面朝下尾部先吸附；4%的渦蟲腹面朝下腹部先吸附。以先吸附的部位來看，渦蟲從未吸附到吸附狀態時，頭部先吸附的機率為 86%；其他部位先吸附的機率為 14%，頭部先吸附的行為出現次數最多。



圖三十九、渦蟲各種吸附狀態所佔比率



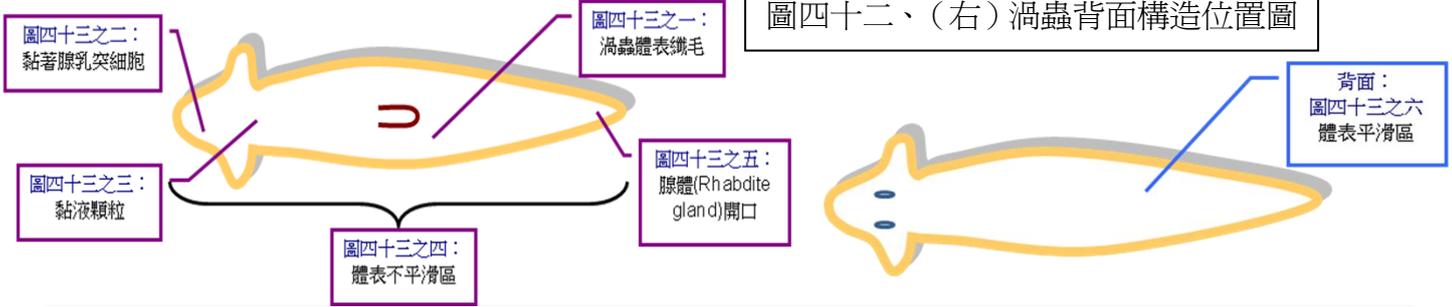
圖四十、渦蟲先吸附部位比率

實驗八：電顯構造觀察

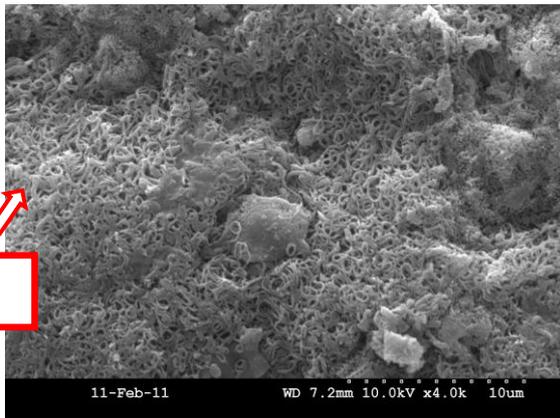
我們以掃描式電子顯微鏡觀察渦蟲表面。發現渦蟲腹面體表有著大量不平滑表面（如圖四十三之四），細看可發現在腹面不平滑體表中散佈著捲曲狀纖毛（如圖四十三之一），而其中又以腹部散佈區域最大。腹面頭部較邊緣部分我們則觀察到渦蟲的黏著腺乳突細胞（如圖四十三之二），腹面腹部上端我們則觀察到許多表面光滑的圓球狀或桿狀的黏液顆粒（如圖四十三之三），黏液顆粒愈水後可行成具有黏性的黏液。腹面的側視圖發現不平滑體表（如圖四十三之四-1）由柱狀上皮細胞所組成（如圖四十三之四-2），以及其所排列出來的圓型孔洞（如圖四十三之四-3）。在腹面尾部的地方我們則觀察到形狀相當奇特的構造，經查證後確定為腺體(Rhabdite gland)之開口（如圖四十三之五），Rhabdites 的功能則和形成黏液膜、防衛、捕食及運動有關。相較於腹面多為不平整表面，渦蟲背面則為大面積之平滑表面（如圖

四十三之六)。我們根據渦蟲表面構造位置，畫出渦蟲體表構造位置圖（如圖四十一、四十二）。

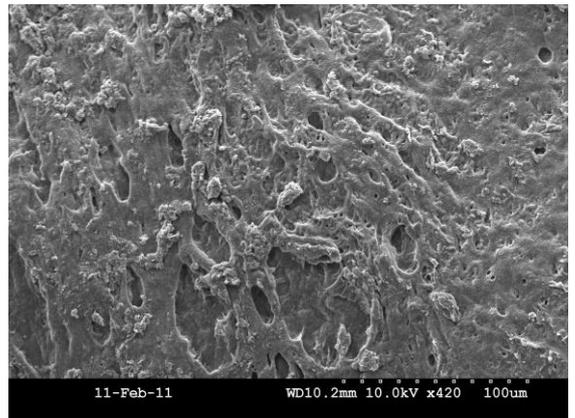
圖四十一、(左) 渦蟲腹面構造位置圖
圖四十二、(右) 渦蟲背面構造位置圖



一、腹面腹部：渦蟲體表纖毛



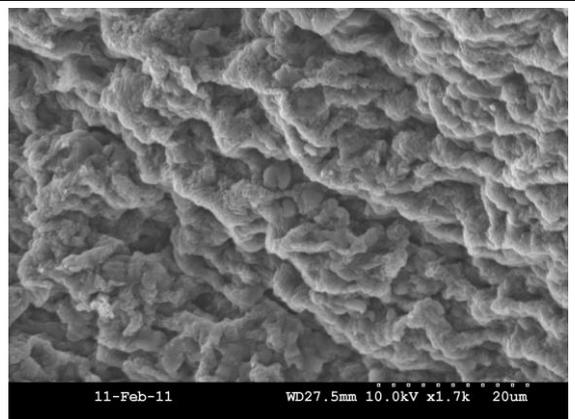
二、腹面頭部：黏著腺乳突細胞



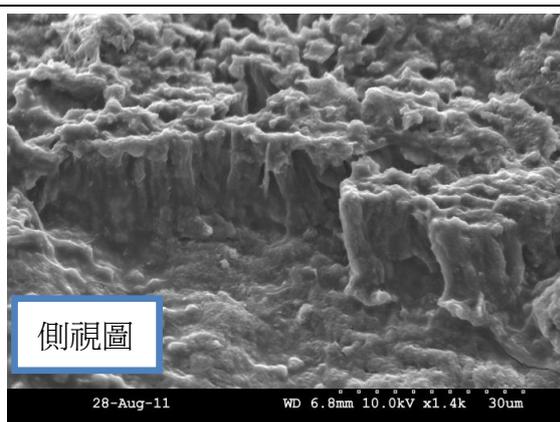
三、腹面腹部上端：黏液顆粒



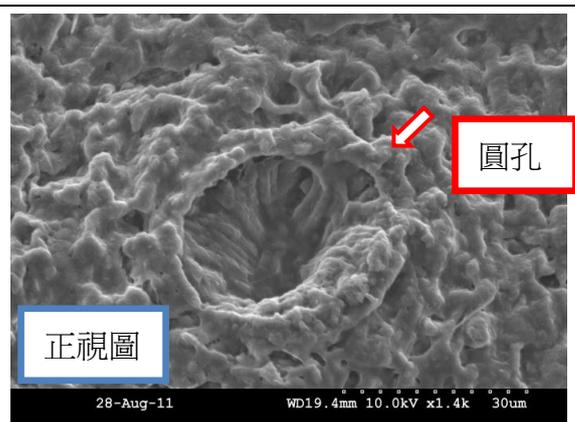
四-1、腹面全身：體表不平滑區

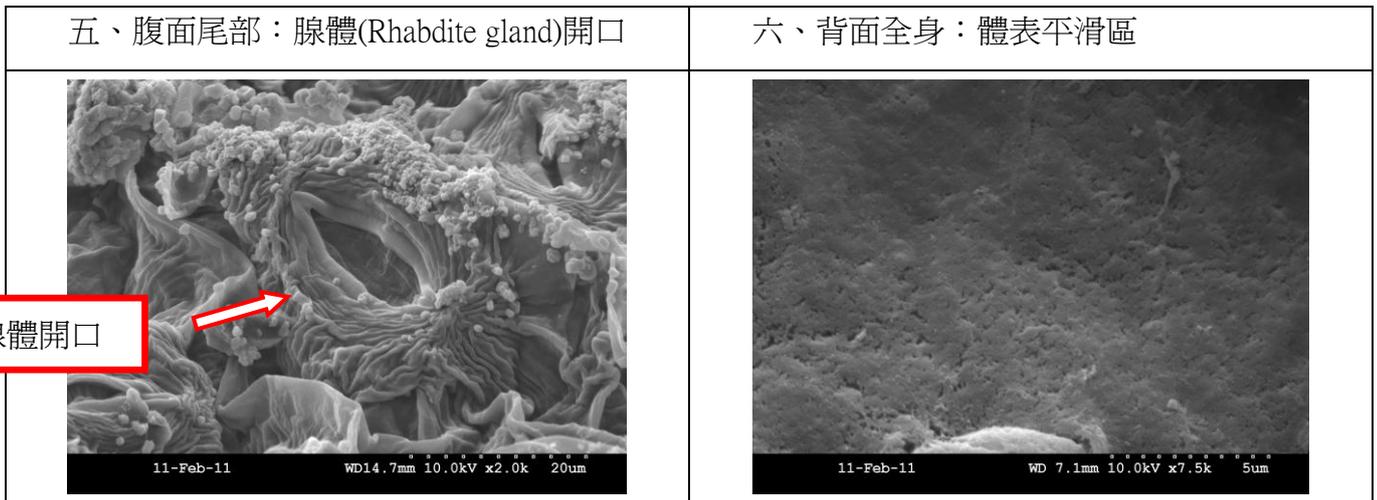


四-2、體表不平滑區：柱狀上皮細胞



四-3、不平滑區：上皮細胞排列出的圓孔



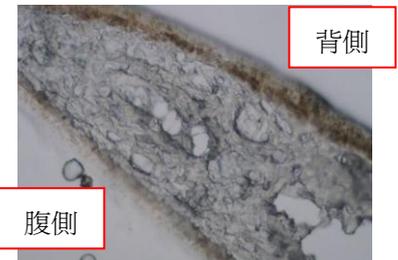


圖四十三、渦蟲構造觀察

※腺體(Rhabdite gland): 為渦蟲體表面分泌黏液的腺體, 分泌物通常是桿狀(rhabdites)。Rhabdites 的功能相當多樣, 主要是形成黏液膜, 其功能與防衛、捕食及運動有關。

實驗九：冷凍切片構造觀察

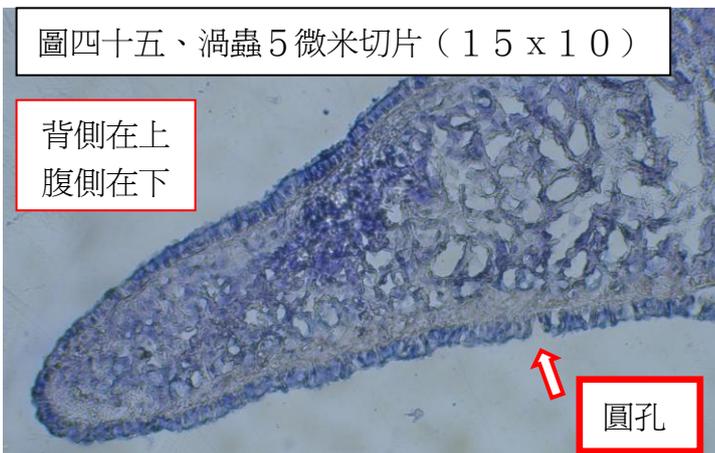
我們以複式顯微鏡觀察渦蟲組織橫切片。10 微米厚度之切片可觀察到渦蟲體表外側排列成層的上皮細胞 (即上皮層), 且其基部的邊緣色素顆粒明顯, 背側顆粒顏色較深, 腹側顆粒顏色較淺 (如圖四十四)。



圖四十四、渦蟲 10 微米橫切片(15 x 10)

5 微米厚度之切片可觀察到二至三層細胞, 柱狀上皮細胞分界明顯。以蘇木紫染色後, 渦蟲上皮細胞被染成淡藍色, 我們發現腹側的柱狀上皮細胞形狀較瘦長, 外圍具有纖毛, 且在排列緊密的細胞群與細胞群間具有較大的細胞間隙 (如圖四十五); 而背側的上皮細胞則較粗短且排列密集。被染成深紫藍色的桿狀體散布在上皮細胞內且垂直於體表, 背側所觀察到的桿狀體較大, 密集度也較腹側的桿狀體高, 其中尾部切片的背側桿狀體最為明顯。渦蟲進行組織切片時, 上皮層易與縱肌層分離, 但大多仍維持完整的環狀 (如圖四十六)。

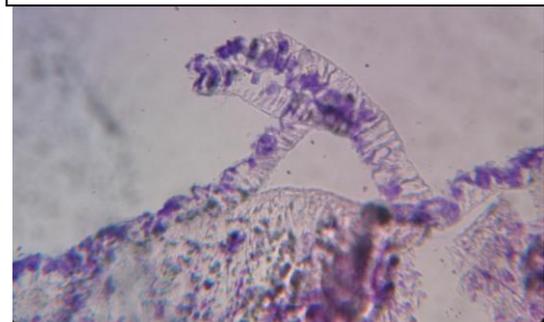
圖四十五、渦蟲 5 微米切片 (15 x 10)



背側在上
腹側在下

圓孔

圖四十六、維持完整環狀的上皮層(15 x 40)



環狀輪廓

陸、討論

一、 模擬野外環境腹面朝下的行為探討

渦蟲具有黏液腺和釋放腺來自由控制吸附和移動，在有流速的水域中，流速越大，渦蟲的吸附數目比率越小，我們可由此結果推測，在自然環境下的渦蟲，會因為所釋放的黏液無法承受較強的水流之衝擊，而使渦蟲欲自由移動的行為受到阻礙，因此，我們更進一步推論出，渦蟲在此情況下可能有兩種行為表現：其一，在強力水流衝擊下，渦蟲為了游往目的地，將會分泌黏液吸附住底質來對抗水流，但可能因黏液之附著力有限，最終不堪水流衝擊而被沖刷掉。其二，當渦蟲感應到強烈水流後，為了保護體表，不但停止分泌附著之黏液，有可能也分泌出釋放的黏液使個體與底質分離，並順應水流沖刷。（參考資料：任淑仙，1995，無脊椎動物學上冊）。本實驗流速為中速5.05cm/s之人工流動水域所表現出的逆流數目比率為所有流速當中之最高，而本實驗所採集的渦蟲原生地之水流速度4.18 cm/s恰最接近5.05cm/s，且渦蟲具有逆水性。（渦蟲在流水中，常面向或爬向逆水。——渦蟲的生態。林南慧、陳晉揚）。因此，我們從此一現象推論出，渦蟲在越接近原生地流速的環境中，因為最能適應其水流之沖刷強度，所能表現出的逆流特性也就越明顯，也就是說，越能恰到好處的控制黏液的分泌情形來調整其移動狀態。個體大小介於0.5~3 cm 的渦蟲無論大、中、小個體在水流5.05cm/s之平面軌道中皆能吸附良好且吸附率無明顯差異，因此我們可以推論個體大小對渦蟲吸附能力無顯著影響。又因大渦蟲之體表面積大於小渦蟲之體表面積，而要完全吸附壁面需要一定的吸附力，但其吸附數量比率卻相差不多（圖二十七）。由此我們可以推論渦蟲之黏著相關構造可能和渦蟲體表面積的大小成正相關性，而中渦蟲逆流性表現最強。而在底質越粗糙的流動水域中渦蟲之吸附比率越大，我們由此推論底質越粗糙，顆粒間相對的間隙就越大，渦蟲所分泌的黏液較易覆蓋深入縫隙之間。因此在較粗糙之底質上，渦蟲較容易吸附。底質越粗糙的流動水域，渦蟲之逆游率越高。而我們觀察到在渦蟲原生地，表面粗糙的石頭下方渦蟲分布較顆粒細小的沙質河床多，且渦蟲具有逆流性。我們推論，在一定範圍之粗糙程度下，渦蟲之逆流數目比率和粗糙程度有正相關性。在斜度越大的流動水域中，渦蟲的吸附數目比率越低。

二、 實驗室腹面朝上的行為探討

在流動循環水域中的渦蟲仰游隻數較靜止水域多。我們由此現象推測：一旦渦蟲開始仰游後，因為流動循環水流能提供渦蟲在漂浮狀態時移動的助力，所以能使渦蟲較容易仰游。另一項發現則是，當渦蟲移動時需要消耗較多能量（渦蟲仰游時需扭動身體才能移動，並不能像腹面朝下時利用黏著相關構造及纖毛在底質上滑行），時間一久，渦蟲就會因為體力不堪負荷而停止仰游。當渦蟲處需要在有漂浮物的水域中時，除了腹面朝下吸附的渦蟲之外，剩餘的渦蟲較傾向吸附在漂浮物的表面下，而較不偏好仰游。推測：其一，若渦蟲腹面朝上(即仰游和吸附於竹葉下)之行爲是爲了使眼點不接受到強光，那麼渦蟲理當因為漂浮物可遮光而吸附在竹葉之下，而非直接仰游。其二，若腹面朝上而缺乏可吸附物體的姿態會使渦蟲疲憊，則吸附於漂浮物下方會比仰游輕鬆，因為黏液的分泌可以幫助渦蟲更穩定的吸附並維持腹面朝上的姿態。另一結果顯示，當水面漂浮物占總靜止水域面積的比例增加時，吸附在漂浮物下的渦蟲隻數和仰游渦蟲隻數的差距就越大，因此推測：渦蟲吸附於漂浮物之行爲與漂浮物之總表面積成正相關性。

三、 觀察構造

當渦蟲在水流的沖刷下而處於非吸附之漂流狀態時，會傾向於先附著頭部，進而完全附著整個個體。此一行爲使我們推測渦蟲也可能會利用扭動的行爲讓頭部先接觸到物體。另一想法是渦蟲頭部具有較多與黏著相關的構造，而這個推論與我們在電顯中觀察到其頭部具有較多的黏著乳突的現象相互符合。我們以電子顯微鏡觀察渦蟲體表，發現渦蟲的背面多爲平滑區。又發現東洋渦蟲的纖毛只分布於身體腹面；組織切片中，我們也發現腹面的上皮細胞表面才具有纖毛，背面的上皮細胞則是排列緊密而無纖毛，這與細胞所具有的吸附及移動功能密切相關。渦蟲用於爬行的一面是身體的腹面，而背面則用於身體的保護。這種體制提高了動物對不斷變化的環境的應變能力。(任淑仙，1995，無脊椎動物學上冊)。在渦蟲的腹面我們觀察到頭部有較多黏著乳突分布，推測其頭部對吸附與釋放的控制有較大的影響。此項發現符合渦蟲頭部分泌腺較發達之理論；腹部上端則觀察到許多黏液顆粒；在腹部的地方，

有大面積之纖毛，而不平滑區散佈於黏著乳突、黏液顆粒和纖毛區的周圍區域，在電顯下觀察到腹面與背面的不同平滑程度，和我們在渦蟲組織切片中所觀察到的上皮細胞排列方式互相呼應，腹側上皮層較大的細胞間隙也能夠與電顯所拍攝的圓孔做對照（如圖四十五）；尾部則觀察到數量極多的形狀奇特之孔狀構造（如圖四十三之五），請教了新竹教育大學的楊樹森教授後得知為腺體(Rhabdite gland)開口，開口旁之分泌物通常是桿狀(rhabdites)。而Rhabdites的功能相當多樣，主要是形成黏液膜，功能與防衛、捕食及運動有關。組織切片中，背側所觀察到的桿狀體較大，密集度也較腹側的桿狀體高，我們推測在吸附與釋放的行為中，渦蟲背面表皮細胞可排出具有的保護功能的桿狀體。這些構造使渦蟲能夠隨時附著、隨時游離，而能夠迅速而有效地趨向有利，逃避不利的局部環境。

四、 總結

利用我們自製的實驗裝置，模擬野外環境腹面朝下的行為探討中，我們發現，渦蟲會因其本身之個體大小與所處水域環境之：流速、個體大小、底面材質、斜度等因素而影響其行為表現。渦蟲在與其原生地越相近的環境下，能夠吸附不被水流沖走及逆流的特性也越明顯，能適當控制黏液的分泌情形來調整其移動狀態。在實驗室腹面朝上的行為探討中，發現渦蟲會因所處水域之流動與否，及落葉覆蓋面積之大小影響其運動。而觀察構造的結果顯示，自製的渦蟲標本體表構造符合參考文獻中對渦蟲的文字描述，也能夠對渦蟲欲達到吸附與釋放目的所表現出的行為加以進行解釋。

柒、結論

1. 流速越快的水域環境中，渦蟲的吸附能力相對變弱。
2. 個體大小對渦蟲吸附能力無顯著影響。
3. 在底質越粗糙的流動水域中吸附的渦蟲比率越大；底質越細緻，吸附的渦蟲比率越低。
4. 在斜度越大的流動水域中，渦蟲的吸附數目比率越低；斜度越小，渦蟲的吸附數目比率越高。
5. 流動循環水域中之渦蟲較靜止水域中之渦蟲偏好仰游。

6. 渦蟲在與其原生地越相近的環境下，能夠吸附且不被水流沖走的特性也越明顯。
7. 當渦蟲處在的水域有漂浮物時，此水域之渦蟲較傾向於吸附在漂浮物的表面下，而較不偏好仰游。
8. 當渦蟲在水流的沖刷下而處於非吸附之漂流狀態時，頭部會先附著，進而完全附著全部個體。
9. 渦蟲樣本之背面為體表平滑區，背面的上皮細胞排列緊密而無纖毛；樣本之腹面，在頭部大部分為黏著腺乳突細胞，腹部上端附近則觀察到許多黏液顆粒，腹面中段的區域發現大量渦蟲體表纖毛，為腹面上皮細胞表面特化而成，而體表不平滑區散佈在其周圍地帶。最後在尾部具有大量腺體(Rhabdite gland)開口，背側所觀察到的桿狀體較大，密集度也較腹側的桿狀體高。

捌、未來展望及應用

1. 探討渦蟲分泌吸附性黏液和釋放性黏液的機制。
2. 探討渦蟲仰游的目的。
3. 研究渦蟲所釋放出的黏液之性質。
4. 探討渦蟲逆流的原因。
5. 藉由我們自製的人工水域環境，以及日後對渦蟲種種習性的認知，來協助人類了解整個水域環境的生態機制。
6. 本研究觀察到渦蟲能夠適當控制黏液的分泌情形來調整其移動狀態，希望將來可以把類似的原理運用到在強勁水流中進行探勘的儀器上。

玖、參考資料

- 一、任淑仙。1995。無脊椎動物學（上冊），P.180-203。
- 二、林南慧、陳晉揚。無出版。渦蟲的生態。
- 三、岡田要。1988。新日本動物圖鑑-上卷，P. 307-330。
- 四、Frederick W. Harrison and Burton J. Bogitsh , 1991. U.S.A . Microscopic Anatomy of Invertebrates. Volume 3, Platyhelminthes and Namertinea. 113-124
- 五、James H. Thorp and Alan P. Covich, 2001. London. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. 155-170
- 六、Douglas Grant Smith, 2001. London. Pennak' s Freshwater Invertebrates of the United States. Platyhelminthes (Free-living flatworms) 77-104